

**BEST AVAILABLE COPY**

**19 FEDERAL REPUBLIC  
OF GERMANY**



**GERMAN  
PATENT  
OFFICE**

**Patent Specification DE 198 48 540 A1**

51 International Classification  
H 02 M 7/529

21 Reference: 198 48 540.9  
22 Application Date: Oct. 21, 1998  
43 Publication date: Oct. 21, 1999  
45 Published : ---

71 Applicant:  
Kalfhaus, Reinhardt, Engineer, 63533  
Mainhausen, Germany

72 Inventor:  
Kalfhaus, Reinhardt, Engineer, 63533 Mainhausen,  
Germany; Schiller, Christoph, 36093 Kunzell,  
Germany

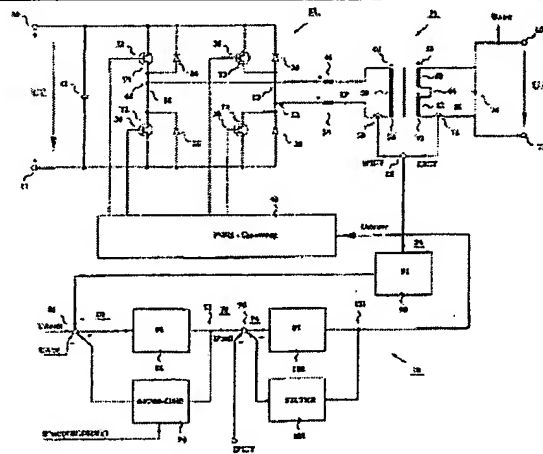
74 Representative:  
Stoffregen, H., Physicist, Dr.rer.nat.,  
Int. Prop attorney., 63450 Hanau

56 Publications taken into consideration to determine patentability.

DD	2 88 942 A5
US	53 45 160
US	49 51 187
EP	03 90 184 A2

54 Electronic circuit and method to drive an inverted rectifier

57 The invention relates to an electronic circuit (10) to drive a single- or multi-phase inverted rectifier (12) whose alternating-current output is connected with a primary winding (15) conducting primary current  $I_p$  in a transformer (14), whereby a load may be switched to at least one secondary winding (60, 62) conducting secondary current  $I_s$  of the transformer (14), said load including a regulating circuit (78) and a control unit (40) for pulse control of power semi-conductors (T1 – T4) of the inverted rectifier. In order to be able to operate the transformer symmetrically and in order to enable any phase angle and output-current characteristic curve, it is arranged that a first measurement element (58) is provided to determine the primary current  $I_p$  and a second measurement element is provided to determine the secondary current  $I_s$ ; that a regulatory differential consisting of primary current  $I_p$  and secondary current  $I_s$  is fed to super-imposed voltage-regulation device (80) with a comparator (98); that the primary current  $I_p$  is fed to the comparator (98) as an actual current value  $I_{p\text{factual}}$ , and that an output (101) from the current-regulation device (96) is connected with an input of the control unit (40).



**THIS PAGE LEFT BLANK**



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 198 48 540 A 1**

⑤ Int. Cl. 7:  
**H 02 M 7/529**

⑲ Aktenzeichen: 198 48 540.9  
⑳ Anmeldetag: 21. 10. 1998  
㉑ Offenlegungstag: 25. 5. 2000

DE 198 48 540 A 1

⑦1 Anmelder:  
Kalfhaus, Reinhard, Dipl.-Ing., 63533 Mainhausen,  
DE  
  
⑦4 Vertreter:  
Stoffregen, H., Dipl.-Phys. Dr.rer.nat., Pat.-Anw.,  
63450 Hanau

⑦2 Erfinder:  
Kalfhaus, Reinhard, Dipl.-Ing., 63533 Mainhausen,  
DE; Schiller, Christoph, 36093 Künzell, DE

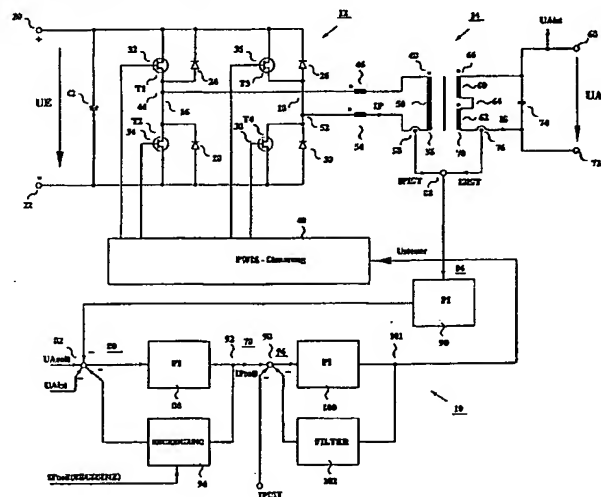
⑤6 Entgegenhaltungen:  
DD 2 88 942 A5  
US 53 45 160  
US 49 51 187  
EP 03 90 184 A2

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Schaltungsanordnung und Verfahren zum Betreiben eines Wechselrichters

⑤7 Die Erfindung bezieht sich auf eine Schaltungsanordnung (10) zum Betreiben eines ein- oder mehrphasigen Wechselrichters (12), dessen Wechselspannungsausgang mit einer einen Primärstrom  $I_p$  führenden Primärwicklung (15) eines Transformators (14) verbunden ist, wobei an zumindest einen einen Sekundärstrom  $I_s$  führenden Sekundärwicklung (60, 62) des Transformators (14) eine Last anschließbar ist, umfassend einen Regelkreis (78) und eine Ansteuerung (40) zur Pulsansteuerung von Leistungshalbleitern (T1-T4) des Wechselrichters (12). Um den Transformator symmetrisch betreiben zu können und um beliebige Phasenwinkel und Ausgangstromkurvenformen zu ermöglichen ist vorgesehen, dass ein erstes Messelement (58) zur Erfassung des Primärstromes  $I_p$  und ein zweites Messelement zur Erfassung des Sekundärstroms  $I_s$  vorgesehen ist, dass eine Regeldifferenz aus Primärstrom  $I_p$  und Sekundärstrom  $I_s$  einer überlagerten Spannungsregleinrichtung (80) zugeführt wird, dass ein Ausgang (92) der Spannungsregleinrichtung (80) mit einem Vergleichler (98) einer unterlagerten Stromregleinrichtung (96) verbunden ist, dass dem Vergleichler (98) der Primärstrom  $I_p$  als Strom-Istwert  $I_{pist}$  zugeführt wird und dass ein Ausgang (101) der Stromregleinrichtung (96) mit einem Eingang der Ansteuerung (40) verbunden ist.



DE 198 48 540 A 1

Die Erfindung bezieht sich auf eine Schaltungsanordnung zum Betreiben eines ein- oder mehrphasigen Wechselrichters, dessen Wechselspannungsausgang mit einer einen Primärstrom  $I_p$  führenden Primärwicklung eines Transformators verbunden ist, wobei an zumindest einer einen Sekundärstrom  $I_s$  führenden Sekundärwicklung des Transformators eine Last anschließbar ist und wobei die Schaltungsanordnung einen Regelkreis und eine Ansteuereinheit zur Pulsansteuerung von Leistungshalbleiterschaltern des Wechselrichters umfasst.

Derartige Wechselrichter sind aus dem Stand der Technik bekannt und werden vorwiegend in der Bahn-, Schiffs- und Automobiltechnik eingesetzt um aus einer durch das Bordnetz vorgegebenen Gleichspannung eine Wechselspannung bestimmter Frequenz und Amplitude zum Antrieb eines Wechselspannungsverbrauchers zu erzeugen.

Um die Ausgangswechselspannung des Wechselrichters anzupassen (vergrößern bzw. verkleinern) wird dem Ausgang des Wechselrichters ein Transformator nachgeschaltet, der die Ausgangswechselspannung des Wechselrichters auf einen angepaßten (höheren bzw. kleineren) Spannungswert transformiert.

Die Eingangsspannung liegt üblicherweise im Bereich von 24 bis 750 VDC und kann auf Ausgangsspannungen im Bereich vom 220 bis 1500 VAC mit Frequenzen vom 16 2/3, 50 bis 400 Hz eingestellt werden.

Insbesondere bei einer geringen Eingangsgleichspannung von ca. 24 VDC und einer Gesamtleistung des Wechselrichters von ca. 1 kW und mehr können Primärströme  $I_p$  von 100 A und mehr fließen, die einen Gleichanteil aufweisen und den nachgeschalteten Transformator in die Sättigung treiben. Durch die Sättigung zeigt der Transformator ein unsymmetrisches Verhalten, das insgesamt den Wirkungsgrad des Wechselrichters erheblich verschlechtert und störende Netzrückwirkungen verursacht.

Zur Ansteuerung eines Wechselrichters ist das Pulsweitenmodulationsverfahren (PWM-Verfahren) bekannt. Dabei ist zur Erzeugung einer Steuerspannung ein Vergleich vorgesehen, dem ein Ist-Wert der ausgangsseitigen Wechselspannung und ein vorgegebener Soll-Wert eines Wechselspannungsverlaufs zum Vergleich zugeführt wird und dessen Ausgang mit einem Komparator verbunden ist, in dem die Steuerspannung mit einer sägezahnförmigen oder dreieckförmigen Vergleichsspannung zur Erzeugung von Ansteuersignalen für die Leistungshalbleiterschalter des Wechselrichters verglichen wird.

Überschreitet jedoch die ermittelte Steuerspannung die sägezahn- oder dreieckförmige Vergleichsspannung, werden keine Ansteuersignale erzeugt, was zu einer Übermodulation führt und sich nachteilig auf den Stromflusswinkel bzw. Verlauf von Ausgangsspannung und/oder -strom auswirkt.

Der vorliegenden Erfindung liegt das Problem zugrunde, eine Schaltungsanordnung und ein Verfahren zum Betreiben eines Wechselrichters derart weiterzubilden, so dass bei weitem Eingangsspannungsbereich und hohen Belastungen einerseits ein hoher Wirkungsgrad und andererseits ein stabiles Regelverhalten gewährleistet wird. Insbesondere soll ein am Ausgang des Wechselrichters liegender Transformator symmetrisch betrieben werden und die Schaltung soll beliebige Stromflusswinkel erfüllen.

Das Problem wird durch eine Schaltungsanordnung einerseits dadurch gelöst, dass ein erstes Messelement zur Erfassung des Primärstroms  $I_p$  und zweites Messelement zur Erfassung des Sekundärstroms  $I_s$  vorgesehen ist, dass eine Regeldifferenz aus Primärstrom  $I_p$  und Sekundärstrom  $I_s$  einer überlagerten Spannungsregelvorrichtung zugeführt wird,

dass ein Ausgang der Spannungsregelvorrichtung mit einem Vergleichler einer unterlagerten Stromregelvorrichtung verbunden ist, dass dem Vergleichler der Primärstrom  $I_p$  als Strom-Istwert  $I_{pIST}$  zugeführt wird und dass ein Ausgang der Stromregelvorrichtung mit einem Eingang der Ansteuereinheit verbunden ist.

Andererseits wird das Problem dadurch gelöst, dass ein erstes Messelement zur Erfassung des Primärstroms  $I_p$  und ein zweites Messelement zur Erfassung des Sekundärstroms  $I_s$  vorgesehen ist, dass eine Regeldifferenz aus Primärstrom  $I_p$  und Sekundärstrom  $I_s$  einer überlagerten Spannungsregelvorrichtung zugeführt wird, dass eine Ausgangsgröße der Spannungsregelvorrichtung einer unterlagerten Stromregelvorrichtung zugeführt wird und mit dem Primärstrom  $I_p$  als Strom-Istwert  $I_{pIST}$  zur Anpassung an dessen Kurvenform verglichen wird, wobei beliebige Phasenwinkel  $\varphi$  und Kurvenformen des Ausgangsstromes bzw. Sekundärstromes  $I_s$  zur Ausgangsspannung  $U_A$  regelbar sind und dass ein Ausgang der Stromregelvorrichtung mit einem Eingang der Ansteuereinheit verbunden ist.

Durch die Erfassung der primär- und sekundärseitigen Ströme  $I_p$ ,  $I_s$  des Transformators kann eine Information über die symmetrische Auslastung des Transformators abgeleitet werden. Die Stromwerte werden wie beschrieben einer Regelvorrichtung zugeführt und als Störgrößenaufschaltung dem eingangsseitigen ersten Vergleichler zugeführt. Auf diese Weise wird eine dem Spannungsregler zuzuführende Regelabweichung beeinflusst, so dass eine in dem Transformator auftretende Unsymmetrie ausgeglichen wird. Ergänzend ist ein unterlagertes Stromregelkreiss vorgesehen, dem der Primärstrom  $I_p$  des Transformators als Ist-Wert und die Ausgangsgröße der ersten Regelvorrichtung als Soll-Wert zugeführt wird. Durch die erfindungsgemäße Anordnung können Unsymmetrien der Transformatorbelastung ausgeglichen werden. Durch den unterlagerten Stromregelkreis wird insgesamt eine stabile Regelung erreicht. Durch die Unterlagerung des Stromregelkreises kann die verstärkte Fehlerdifferenz des Spannungsregelkreises einer Kurvenform des Stromistwertes  $I_{pIST}$  des Primärstroms angepasst werden. Der Primärstrom  $I_{pIST}$  ist über dem Übersetzungsverhältnis  $u$  des Transformators mit dem Sekundärstrom  $I_s$  und damit auch mit dem Ausgangsstrom verknüpft. Insbesondere müssen Ausgangsstrom und -spannung nicht in Phase liegen, so dass die Schaltung mit einem beliebigen Stromflusswinkel im Bereich von  $0 \leq \cos \varphi \leq \pm 1$  betrieben werden kann. Es können beliebige Phasenwinkel  $\varphi$  und Kurvenformen des Ausgangsstromes zur Ausgangsspannung erfüllt werden.

Zur weiteren Verbesserung des Regelverhaltens ist vorgesehen, dass der Spannungsregler zur Begrenzung seines Ausgangssignal ein Rückkoppelglied aufweist, dessen Eingang mit dem Ausgang des Spannungsreglers und dessen Ausgang mit dem ersten Vergleichler verbunden ist. Das Ausgangssignal des Spannungsreglers dient als Soll-Wert für den nachgeschalteten Stromregler und wird mit dem Ist-Wert des Primärstroms  $I_p$  verglichen. Die Begrenzung ist einstellbar.

Um insbesondere im Leerlauf einen stabilen Regelkreis zu erhalten, ist vorgesehen, dass dem Stromregler zur Resonanzdämpfung ein Rückkoppelglied, vorzugsweise ein LC-Filter zugeordnet ist.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform ist vorgesehen, dass die Messelemente zur Erfassung der Ströme  $I_p$  und  $I_s$  mit Eingängen eines zweiten Vergleichlers verbunden sind und dass ein Ausgang des zweiten Vergleichlers über einen Regler, vorzugsweise PI-Regler mit dem ersten Vergleichler des Spannungsreglers verbunden ist.

Zur Filterung der Ausgangsspannung des Wechselrichters

wird vorgeschlagen, dass der Primärwicklung des Transformators zumindest eine Drosselspule in Reihe geschaltet ist, wobei die zumindest eine Drosselspule vorzugsweise integraler Bestandteil des Transformators ist. Auf diese Weise werden Anschlussklemmen eingespart, da mehrere Bauteile in einem vereinigt sind. Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform ist vorgesehen, dass der Primärwicklung des Transformators eine erste Drosselspule vorgeschaltet und eine zweite Drosselspule nachgeschaltet ist. Beide Drosselspulen sind dabei integraler Bestandteil des Transformators.

Vorzugsweise ist ein weiterer Kondensator als Filterelement vorgesehen, der parallel zu zumindest einer Sekundärwicklung angeschlossen ist. Hierzu ist anzumerken, dass dieser Kondensator nach dem Stand der Technik zwischen der zumindest einen Drosselspule und den Anschlüssen der Primärwicklung angeordnet ist. Durch die Verlagerung des Kondensators in den Sekundärstromkreis werden eine Vielzahl von Vorteilen erreicht. Insbesondere wird neben der Stabilisierung des Regelkreises das CV-Produkt verbessert wodurch ein Kondensator kleinerer Baugröße eingesetzt werden kann.

Ferner bezieht sich die Erfindung auf ein Verfahren zum Betreiben eines Wechselrichtes, dessen Ausgangsspannung durch einen Transformator transformiert wird, wobei der Transformator eingangsseitig einen Primärstrom  $I_p$  und ausgangsseitig einen Sekundärstrom  $I_s$  führt, wobei ein Ausgangsspannungs-Ist-Wert des Transformators gemessen und zur Bildung einer Regelabweichung mit einem Ausgangsspannungs-Soll-Wert verglichen wird und wobei die Regelabweichung verstärkt und als Steuerspannung zur Erzeugung von pulsmodulierten Ansteuersignalen verwendet wird.

Das erfindungsgemäße Verfahren ist dadurch gekennzeichnet, dass der Primärstrom  $I_p$  und der Sekundärstrom  $I_s$  zur Bildung einer Störgröße gemessen, miteinander verglichen und mit der eingangsseitigen Regelabweichung verknüpft werden, dass die so gebildete Größe verstärkt und als Primärstrom-Soll-Wert  $I_{pSOLL}$  zur Bildung einer Regelabweichung mit dem Primärstrom-Ist-Wert  $I_{pIST}$  verknüpft und zur Bildung der Steuerspannung verknüpft wird.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird ausgenutzt, dass die Differenz zwischen Primärstrom-Ist-Wert  $I_{pIST}$  und Sekundärstrom-Ist-Wert  $I_{sIST}$  ein Maß für die Unsymmetrie des Transformators ist. Durch die eingangsseitige Beaufschlagung des Regelkreises erfolgt eine Störgrößenaufschaltung der an dem Transformator auftretenden Spannungszeitflächen – Unsymmetrie, wodurch das Steuersignal zur Erzeugung der pulsweitenmodulierten Ansteuersignale der Leistungsschalter entsprechend verändert wird.

Um zu verhindern, dass der Primärstrom  $I_p$  einen vorgegebenen Wert überschreitet, ist vorgesehen, dass die den Primärstrom-Soll-Wert bildende Ausgangsgröße des eingangsseitigen Spannungsreglers begrenzt wird. Dazu wird das Ausgangssignal gemessen und über ein Rückkoppelglied zurückgeführt.

Durch die unterlagerte Stromregelung des Primärstroms  $I_p$  kann der Regelkreis insgesamt stabilisiert werden. Auch wird der Vorteil erreicht, dass beliebige Stromflusswinkel  $0 \leq \cos \varphi \leq \pm 1$  beherrschbar sind.

Die Leistungsschalter des Wechselrichters werden nach dem Pulsweitenmodulationsverfahren (PWM-Verfahren) angesteuert. In diesem Zusammenhang ist besonders auf eine neuartige PWM-Steuerung mit symmetrischer Pulsweitenmodulation hinzuweisen, die einen eigenständigen erfindungsartigen Charakter aufweist.

Aus dem Stand der Technik sind PWM-Steuerungen bekannt, die einen ersten Komparator zum Vergleich einer

Steuerspannung mit einer Vergleichsspannung und einen zweiten Komparator zum Vergleich einer inversen Steuerspannung mit der Vergleichsspannung aufweisen, wobei an den Ausgängen der Komparatoren jeweils Steuersignale zur Ansteuerung von Leistungsschaltern abgreifbar sind. Die hier beschriebene PWM-Steuerung ist dadurch gekennzeichnet, dass zur Ansteuerung von Leistungsschaltern zumindest eines Brückenzeiges zumindest eine Kippschaltung, mit einem Setzeingang und einem Rücksetzeingang vorgesehen ist, wobei ein Ausgang des ersten Komparators über zumindest ein UND-Gatter mit dem Rücksetzeingang und ein Ausgang des zweiten Komparators über zumindest ein UND-Gatter mit dem Setzeingang verbunden ist und wobei das dem Setzeingang zugeordnete UND-Gatter über einen Inverter und das dem Rücksetzeingang zugeordnete UND-Gatter direkt mit einem Ausgang einer Zehlschaltung verbunden ist, an dem ein digitales Signal "H" anliegt, das mit der halben Frequenz der Vergleichsspannung schwingt.

Um Pulsaussetzer für den Fall auszuschließen, wenn die Steuerspannung die Vergleichsspannung überschreitet, ist vorgesehen, dass die Ausgänge der Komparatoren über einen Inverter jeweils mit einem Eingang eines UND-Gatters verbunden sind, dessen Ausgang mit jeweils einem Eingang eines ODER-Gatters verbunden ist, wobei ein Ausgang des dem ersten Komparator zugeordneten ODER-Gatters mit einem Eingang des dem Rücksetzeingang zugeordneten UND-Gatters der ersten Kippschaltung und mit einem Eingang eines dem Setzeingang der zweiten Kippschaltung zugeordneten UND-Gatters verbunden ist und wobei ein Ausgang des dem zweiten Komparators zugeordneten ODER-Gatters mit einem Eingang des dem Setzeingang der ersten Kippschaltung zugeordneten UND-Gatters und mit einem Eingang eines dem Rücksetzeingang der zweiten Kippschaltung zugeordneten UND-Gatters verbunden ist.

Dabei sind die UND-Gatter mit einem Ausgang der Zehlschaltung verbunden, an dem ein digitales Signal "MIN" anliegt, das bei einem vorgebbaren minimalen Zählerstand den logischen Pegel "LOW" einnimmt und wobei ein Eingang des ODER-Gatters mit einem Ausgang der Zehlschaltung verbunden ist, an dem ein digitales Signal "MAX" anliegt, das bei einem vorgebbaren maximalen Zählerstand den logischen Pegel "HIGH" einnimmt.

Des Weiteren ist vorgesehen, dass ein Ausgang der Zehlschaltung mit einem Steuereingang des Spannungsgenerators zum Setzen und Rücksetzen der sägezahnförmigen Vergleichsspannung verbunden ist.

Dabei ist vorgesehen, dass die Zehlschaltung vorzugsweise als 8-Bit-Zähler ausgebildet ist, um eine ausreichende Auflösung zu erhalten.

Auch bezieht sich die Erfindung auf ein Verfahren zur Erzeugung von pulsweitenmodulierten Signalen zur Ansteuerung von Leistungsschaltern zumindest eines Brückenzeiges eines Pulswechselrichters, wobei eine sägezahnförmige Vergleichsspannung mit einer Steuerspannung und einer inversen Steuerspannung zur Erzeugung von Ansteuerimpulsen verglichen wird und wobei erste Ansteuerimpulse erzeugt werden, wenn die Vergleichsspannung betragsmäßig größer als die Steuerspannung ist und zweite Ansteuerimpulse erzeugt werden, wenn die Vergleichsspannung betragsmäßig größer als die inverse Steuerspannung ist.

Dabei ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass die Leistungsschalter simultan angesteuert werden, wobei das Setzen eines ersten Leistungsschalters das Rücksetzen eines zweiten Leistungsschalters bewirkt und wobei das Setzen der Leistungsschalter über eine ansteigende Flanke des ersten Impulses und das Rücksetzen über eine ansteigende Flanke des zweiten Impulses erfolgt. Durch das erfindungsgemäße Ansteuerverfahren wird der Vorteil erreicht, dass

eine symmetrische Ansteuerung der Leistungsschalter ermöglicht wird. Insbesondere wird sowohl die Einschalt- als auch Ausschaltflanke der Leistungsschalter bei Veränderung des Spannungswortes der Steuerspannung variiert.

Um zu erreichen, dass bei einer Brückenschaltung die Leistungsschalter eines Brückenzeigs nach jeder zweiten Periode der Vergleichsspannung umgeschaltet werden, ist vorgesehen, dass die von den Komparatoren erzeugten Ansteuerimpulse mit einem digitalen Signal "H" der halben Frequenz der Vergleichsspannung logisch UND-verknüpft werden, wobei ein dem positiven Pol einer Brückenschaltung zugeordneter Leistungsschalter nur dann gesetzt werden kann, wenn das Signal "H" den logischen Pegel "LOW" aufweist und ein dem negativen Pol der Brückenschaltung zugeordneter Leistungsschalter nur dann gesetzt werden kann, wenn das Signal "H" den logischen Pegel "HIGH" aufweist.

Insgesamt werden die Leistungsschalter mit einer Frequenz angesteuert, die der Hälfte der Frequenz der Vergleichsspannung entspricht. Auf diese Weise können die Schaltverluste reduziert werden. Auch ergeben sich Vorteile bezüglich der durch die Schaltvorgänge erzeugten Oberwellen.

Um Schaltaussetzer bei hohen, d. h. die Vergleichsspannung überschreitenden Steuerspannungen zu verhindern, wird bei einem vorgebbaren minimalen Zählerstand ein logisches Signal "MIN" erzeugt, dass mit den Ansteuersignalen logisch UND-verknüpft wird und bei einem vorgebbaren maximalen Zählerstand ein logisches Signal "MAX" erzeugt, das mit den Ansteuersignalen ODER-verknüpft wird.

Weitere Einzelheiten, Vorteile und Merkmale der Erfindung ergeben sich nicht nur aus den Ansprüchen, den diesen zu entnehmenden Merkmalen – für sich und/oder in Kombination –, sondern auch aus der nachfolgenden Beschreibung eines den Zeichnungen zu entnehmenden bevorzugten Ausführungsbeispiels.

Es zeigen:

Fig. 1 einen Wechselrichter mit zugehörigem Regelkreis,

Fig. 2 ein Blockschaltbild einer PWM-Steuerung und

Fig. 3 Signalverläufe von logischen Signalen der PWM-Steuerung gemäß Fig. 2.

In Fig. 1 ist eine Schaltungsanordnung 10 zum Betreiben eines Wechselrichters 12 mit nachgeschaltetem Transformator 14 dargestellt.

Der Wechselrichter 12 ist in dem hier dargestellten Ausführungsbeispiel als Brückenschaltung ausgebildet und weist einen ersten Brückenzeig 16 mit Leistungsschaltern T1, T2 und einen zweiten Brückenzeig 18 mit Leistungsschaltern T3, T4 auf. Die Leistungsschalter T1–T4 sind als NPN-Transistoren wie z. B. FET's oder IGBT's ausgebildet, wobei die Leistungsschalter T1, T3 mit ihrem Kollektor an einem positiven Pol 20 einer die Eingangsspannung  $U_E$  liefernden Spannungsquelle und die Leistungsschalter T2, T4 jeweils mit ihrem Emitteranschluss mit einem negativen Pol 22 der Spannungsquelle verbunden sind. Parallel zu den Leistungsschaltern T1–T4 ist jeweils eine Freilaufdiode 24, 26, 28, 30 bezogen auf die Leitstrecke der Transistoren T1–T4 antiparallel geschaltet. Ferner weisen die Leistungsschalter T1–T4 Steuereingänge 32, 34, 36, 38 auf, die mit Ausgängen einer PWM-Steuerung 40 verbunden sind.

Zur Glättung der Eingangsspannung  $U_E$  ist zwischen dem positiven Pol 20 und dem negativen Pol 22 der Spannungsquelle ein Kondensator 42 angeordnet.

Eine Mittelanzapfung 44 zwischen dem Leistungsschalter T1 und dem Leistungsschalter T2 bildet einen ersten Ausgang des Wechselrichters 12, der über eine Drosselspule 46 mit einem ersten Anschluss 48 einer Primärwicklung 50 des Transformators 14 verbunden ist. Eine Mittelanzapfung 52

zwischen dem Leistungsschalter T3 und dem Leistungsschalter T4 bildet einen zweiten Ausgang des Wechselrichters 12, der über eine zweite Drosselspule 54 mit einem zweiten Anschluss 56 der Primärwicklung 50 des Transformators 14 verbunden ist. Zur Erfassung des durch die Primärwicklung 50 fließenden Primärstroms  $I_P$  ist ein Messelement 58 vorgesehen.

Der Transformator 14 weist in dem hier dargestellten Ausführungsbeispiel zwei Sekundärwicklungen 60, 62 auf, die über eine Verbindung 64 zu einer einzigen Sekundärwicklung verbunden sind. Es kann auch eine einzige Sekundärwicklung vorgesehen sein. Ein erster Anschluss 66 der Sekundärwicklung 60 bildet einen ersten Pol 68 und ein weiterer Anschluss 70 der Sekundärwicklung 62 bildet einen zweiten Pol 72 der Ausgangsspannung  $U_A$ . Parallel zu der Reihenschaltung aus Sekundärwicklung 60 und Sekundärwicklung 62 ist ein Kondensator 74 angeordnet, der zusammen mit den Drosselspulen 46, 54 einen Filter bildet. Zur Erfassung des Sekundärstroms  $I_S$  ist ein Messelement 76 vorgesehen.

Die Schaltungsanordnung 10 zum Betreiben des Wechselrichters 12 mit zugeordnetem Transformator 14 besteht aus einem Regelkreis 78 und der oben erwähnten PWM-Steuerung 40. Erfindungsgemäß weist der Regelkreis 78 eine überlagerte Spannungsregleinrichtung 80 auf, die aus einem Vergleichler 82 und einem Spannungsregler 84 besteht. Dem Vergleichler 82 wird ein Ausgangsspannungs-Soll-Wert  $U_{ASOLL}$  sowie ein Ausgangsspannungs-Ist-Wert  $U_{AIST}$  zugeführt. Ferner ist der Vergleichler 82 mit dem Ausgang einer Stromregleinrichtung 86 verbunden, in der aus dem gemessenen Primärstrom-Ist-Wert  $I_{PIST}$  und Sekundärstrom-Ist-Wert  $I_{SIST}$  eine Regeldifferenz als Störgröße ermittelt wird. Die Stromregleinrichtung 86 besteht aus einem mit den Messelementen 58 und 76 verbundenen zweiten Vergleichler 88 und einem Stromregler 90.

Ein Ausgang 92 des Spannungsreglers 84 ist über ein Rückkoppelglied 94 mit dem Vergleichler 82 verbunden. Dadurch wird eine Begrenzung eines am Ausgang anliegenden Ausgangssignals, das einen Soll-Wert für den Primärstrom  $I_P$  bildet, begrenzt.

Der überlagerten Spannungsregleinrichtung 80 ist eine unterlagerte Stromregleinrichtung 96 nachgeschaltet, die aus einem Vergleichler 98 und einem Stromregler 100 besteht. Der Vergleichler 98 ist mit dem Ausgang 92 des Spannungsreglers 84 verbunden. Ferner wird dem Vergleichler 98 der Primärstrom-Ist-Wert  $I_{PIST}$  zugeführt. Der Ausgang des Stromreglers 100 ist über ein Rückkoppelglied 102, das vorzugsweise als Filter zur Resonanzdämpfung ausgebildet ist, mit dem Vergleichler 98 und mit einem Steuereingang der PWM-Steuerung 40 verbunden.

Die beschriebene Schaltungsanordnung 10 zeichnet sich durch die Messelemente 58, 76 zur Erfassung des Primärstroms  $I_P$  und des Sekundärstroms  $I_S$  aus, wobei aus den ermittelten Messgrößen eine Regelabweichung berechnet und im Stromregler 90 verstärkt wird, die dem Vergleichler 88 als Störgrößenaufschaltung zugeführt wird. Die auf diese Art ermittelte Störgröße ist ein Maß für die unsymmetrische Auslastung des Transformators 14. Zusammen mit dem Ausgangsspannungs-Soll-Wert  $U_{ASOLL}$  und dem Ausgangsspannungs-Ist-Wert  $U_{AIST}$  wird eine Regelabweichung zur Verfügung gestellt, die von dem Spannungsregler 84 verstärkt wird. Damit die verstärkte Regeldifferenz einen bestimmten Wert nicht überschreitet, ist die Begrenzung 94 in Form eines Rückkoppelgliedes vorgesehen. Der Wert der Begrenzung kann vorzugsweise eingestellt werden. Die so ermittelte Größe  $I_{PSOLL}$  dient als Soll-Wert für den Primärstrom  $I_P$  und wird in dem Vergleichler 98 mit dem Primärstrom-Ist-Wert  $I_{PIST}$  zur Bildung einer Regeldifferenz ver-

knüpft. Die so gebildete Regeldifferenz wird dem Stromregler 100 zur Verstärkung zugeführt und zur Regelkreisstabilisierung über den Filter 102 auf den Vergleicher 98 zurückgeführt. Am Ausgang 101 des Stromreglers 100 ist eine im wesentlichen sinusförmige Steuerspannung als PWM-Steuersignal abgreifbar.

Die am Ausgang 101 der Regeleinrichtung 96 anliegende Steuerspannung kann mit unsymmetrischen Schwankungen behaftet sein. Bei herkömmlichen PWM-Steuern führen diese Spannungsschwankungen dazu, dass die Leistungsschalter T1-T4 fehlerhaft bzw. nicht angesteuert werden. Dies führt zu unerwünschten Netzzrückwirkungen und verschlechtert den Wirkungsgrad des Wechselrichters.

Daher wird erfindungsgemäß eine PWM-Steuerung 40 mit symmetrischer Pulsweitenmodulation vorgeschlagen. Der Aufbau der erfindungsgemäßen PWM-Steuerung 40 wird anhand von Fig. 2 näher erläutert.

Die PWM-Steuerung 40 umfasst im wesentlichen einen ersten Komparator 104, einen zweiten Komparator 106, einer Ansteuereinheit 108 für die Leistungsschalter T1 und T2, eine Ansteuereinheit 110 für die Leistungsschalter T3 und T4, einen Spannungsgenerator 112 zur Erzeugung einer Vergleichsspannung sowie eine Signalgeberschaltung 114 mit zugehörigem Taktgenerator 116.

Ein positiver Eingang 118 des ersten Komparators 104 bildet den Eingang der PWM-Steuerung 40 und ist unmittelbar mit dem Ausgang 101 verbunden, an dem die Steuerspannung  $U_{STEUER}$  anliegt. Ein positiver Eingang 120 des zweiten Komparators 106 ist über eine Inverterschaltung 122 mit der Steuerspannung verbunden, so dass an dem Eingang 120 die invertierte Steuerspannung  $/U_{STEUER}$  anliegt (wird im folgenden als Negationszeichen verwendet). Ein Ausgang 123 des Spannungsgenerators 112 liegt über einem Kondensator 124 zur Tiefpassfilterung jeweils an einem negativen Eingang 126, 128 der Komparatoren 104, 106. Des Weiteren ist zur Tiefpassfilterung ein Widerstand 130 vorgesehen, der die negativen Eingänge 126, 128 mit Massepotential verbindet. Zum Setzen und Rücksetzen einer generierten Sägezahnspannung ist der Spannungsgenerator 112 mit einem Ausgang 132 der Zählschaltung 114 verbunden.

Die Komparatoren 104, 106 weisen jeweils einen Ausgang 134, 136 auf, der über jeweils ein Invertergatter 138, 140 mit einem Eingang 142, 144 eines Und-Gatters 146, 148 verbunden ist. Ein weiterer Eingang 150, 152 des Und-Gatters 146, 148 ist mit einem Ausgang 154 der Signalgeberschaltung 114 verbunden. An dem Ausgang 154 liegt ein digitales Signal "MIN" an, das einen Pegel "HIGH" annimmt, wenn ein in die Signalgeberschaltung integrierter Zähler einen Mindestwert überschritten hat. Ein Ausgang 156, 158 des Und-Gatters 146, 148 ist mit einem Eingang 160, 162 eines Oder-Gatters 164, 166 verbunden. Ein weiterer Eingang 168, 170 des Oder-Gatters 164, 166 ist mit einem Ausgang 172 der Signalgeberschaltung verbunden, an dem ein digitales Signal "MAX" anliegt, das dann den Pegel "HIGH" einnimmt, wenn ein bestimmter maximaler Zählerstand erreicht ist. Das Signal "MAX" wird am Ende einer Periode der Vergleichsspannung zurückgesetzt.

Ein Ausgang 174 des Oder-Gatters 164 ist mit einem Eingang 176 eines Und-Gatters 178 verbunden, dessen Ausgang mit einem Rücksetzeingang 180 der Ansteuereinheit 108 für die Leistungsschalter T1 und T2 verbunden ist. Ein weiterer Eingang 182 des Und-Gatters 178 ist mit einem Ausgang 184 verbunden, an dem ein digitales Signal "H" anliegt, das die halbe Frequenz der Vergleichssägezahnspannung aufweist. Des Weiteren ist der Ausgang 174 des Oder-Gatters 164 mit einem Eingang 186 eines Und-Gatters 188 verbunden, dessen Ausgang mit dem Rücksetzeingang 190 der Ansteuereinheit 110 für die Leistungsschalter T3

und T4 verbunden ist.

Ein Ausgang 192 des Oder-Gatters 166 ist einerseits mit einem Eingang 194 eines Und-Gatters 196 verbunden, dessen Ausgang mit einem Rücksetzeingang 198 der Ansteuerschaltung 110 verbunden ist. Andererseits liegt der Ausgang 192 des Oder-Gatters 166 an einem Eingang 200 eines Und-Gatters 202, dessen Ausgang mit einem Setzeingang 204 der Ansteuereinheit 108 für die Leistungsschalter T1 und T2 verbunden ist. Ein weiterer Eingang 206 des Und-Gatters 202 ist über einen Inverter 208 mit dem Ausgang 184 verbunden. Gleiches gilt für einen Ausgang 210 des Und-Gatters 188, der über einen Inverter 212 mit dem Ausgang 184 verbunden ist. Ferner ist ein Eingang 214 des Und-Gatters 196 mit dem Ausgang 184 verbunden.

Die Funktionsweise der PWM-Steuerung 40 gemäß Fig. 2 soll unter Bezugnahme auf die in Fig. 3 dargestellten Signalverläufe erläutert werden.

In Fig. 3a ist der Verlauf des Signals "H" dargestellt, das an dem Ausgang 184 der Signalschaltung 114 abgreifbar ist. In dem hier dargestellten Ausführungsbeispiel ist die Signalschaltung 114 als 8-Bit-Zähler ausgebildet, wobei das Signal "H" den Pegel des Bits mit der höchsten Wertigkeit darstellt.

In Fig. 3b ist einerseits der Verlauf der sägezahnförmigen Vergleichsspannung  $U_{VERGL}$  und andererseits sind die Verläufe von Steuerspannung  $U_{STEUER}$  und der inversen Steuerspannung  $/U_{STEUER}$  dargestellt.

Übersteigt der Wert der Vergleichsspannung  $U_{VERGL}$  den Wert der Steuerspannung  $U_{STEUER}$ , ändert sich der Ausgangspegel am Ausgang des ersten Komparators 104, der von dem Inverter 138 invertiert wird. Ein entsprechender Signalverlauf  $/KOMP1$  ist in Fig. 3c dargestellt.

Überschreitet die Vergleichsspannung  $U_{VERGL}$  die inverse Steuerspannung  $/U_{STEUER}$ , so ändert sich das Ausgangssignal des zweiten Komparators 106, das ebenfalls durch den Inverter 140 invertiert wird und als Signal  $/KOMP2$  in Fig. 3d dargestellt ist.

Die Signale  $/KOMP1$  und  $/KOMP2$  dienen zur symmetrischen Ansteuerung der Leistungsschalter T1-T4 des Wechselrichters 12. Dabei ist vorgesehen, dass eine ansteigende Flanke des Signals  $/KOMP1$  einen ersten Umschaltvorgang in dem Brückenweig 16 mit den Leistungsschaltern T1 und T2 auslöst und dass eine ansteigende Flanke des Signals  $/KOMP2$  einen zweiten Umschaltvorgang der Leistungsschalter T1 und T2 in dem Brückenweig 16 auslöst. Um zu erreichen, dass bei einer Vollbrückenschaltung ein Umschaltvorgang eines Brückenweiges bei jeder zweiten Periode der Vergleichsspannung  $U_{VERGL}$  erzeugt wird, ist vorgesehen, dass die Signale  $/KOMP1$  und  $/KOMP2$  mit dem Signal "H" logisch verknüpft werden. So wird z. B. ein Umschaltvorgang des Leistungsschalters T1 des Brückenweiges 16 nur dann eingeleitet, wenn bei ansteigender Flanke des Signals  $/KOMP1$  das Signal "H" den logischen Pegel "HIGH" aufweist. In einer folgenden Periode erfolgt ein Umschaltvorgang in den Leistungsschalter T3, T4 des Brückenweiges 18, wobei bei einer ansteigenden Flanke des Signals  $/KOMP1$  und bei einem logischen Pegel "LOW" des Signals "H" ein Einschaltvorgang des Leistungsschalters T4 eingeleitet wird.

Dieses Ansteuerungsverfahren zeichnet sich besonders dadurch aus, dass beide Flanken der Umschaltvorgänge der Leistungsschalter eines Brückenweiges durch Veränderung der Steuerspannung  $U_{STEUER}$  im wesentlichen symmetrisch bezogen auf eine abfallende Flanke der sägezahnförmigen Vergleichsspannung variiert werden. Dieser Effekt kann insbesondere bei hohen Steuerspannungen ausgenutzt werden.

Überschreitet die Steuerspannung  $U_{STEUER}$  zum Beispiel den maximalen Wert der Vergleichsspannung  $U_{VERGL}$ , wer-



den von den Komparatoren 104 bzw. 106 keine Signale erzeugt, so dass eine Ansteuerung der Leistungsschalter nicht erfolgt, was zu Pulsaussetzern führt.

Um derartige Pulsaussetzer beim Überschreiten der Steuerungsspannung über den Wert der Vergleichsspannung zu verhindern, wird kurz vor dem Rücksetzen der Vergleichsspannung ein digitales Signal "MAX" gemäß Fig. 3e erzeugt. Des Weiteren wird kurz nach dem Setzen der Vergleichsspannung ein digitales Signal "MIN" erzeugt. Dabei ist vorgesehen, dass das digitale Signal "MIN" jeweils mit den Signalen /KOMP1 und /KOMP2 über ein logisches UND-Gatter 146, 148 verknüpft wird. Ein am Ausgang des UND-Gatters 146, 148 liegendes Signal wird sodann mit dem digitalen Signal "MAX" logisch ODER-verknüpft, so dass auf diese Art und Weise sichergestellt ist, dass ein erster Umschaltvorgang in einem Brückenkreis dann eingeleitet wird, wenn entweder das Signal /KOMP1 oder das Signal "MAX" eine aufsteigende Flanke erzeugen.

Der zweite Umschaltvorgang wird sodann von der ansteigenden Flanke des Signals "MIN" übernommen, wobei das Signal "MIN" mit dem Signal /KOMP2 logisch UND-verknüpft wird.

Dadurch ist eine Mindestimpulsbreite festgelegt, die einerseits über die Impulsbreite des Signals "MAX" und andererseits über die Impulsbreite des Signals "MIN" definiert ist. Durch logische Verknüpfung mit dem Signal "H" wird eine Auswahl getroffen, welcher Brückenkreis zu schalten ist.

Die Dauer der Signale "MIN" und "MAX" werden wie folgt festgelegt: Da es sich bei der Signalgeberschaltung 114 um einen 8-Bit-Zähler handelt, verbleibt das Signal "H" während der Zählimpulse 0-126 auf dem logischen Pegel "LOW" und während der Zählimpulse 127-256 auf dem logischen Pegel "HIGH". Ferner ist vorgesehen, dass bei dem Zählerstand 126 am Ausgang 132 ein Entladesignal gesetzt wird, das bei dem Zählerstand 1 wieder zurückgesetzt wird, so dass die aufsteigende Rampe der Vergleichsspannung erzeugt wird. Das Signal "MIN" wird während der Zählerstände 2-4 von dem logischen Pegel "HIGH" auf den logischen Pegel "LOW" geschaltet. Andererseits wird das Signal "MAX" während der Zählerstände 123-125 auf den logischen Pegel "HIGH" geschaltet.

Insgesamt dienen die Signale "MIN" und "MAX" dazu, die Pulsweitenmodulation in ihrer minimalen und maximalen Ansteuerung zu begrenzen. Insgesamt wird durch die erfindungsgemäße PWM-Steuerung eine symmetrische Pulsweitenmodulation für einen Wechselrichter zur Verfügung gestellt, wodurch insbesondere beim Einschaltverhalten und im Leerlauf das Regelverhalten der Schaltungsanordnung zum Betreiben des Wechselrichters verbessert wird.

#### Patentansprüche

1. Schaltungsanordnung (10) zum Betreiben eines ein- oder mehrphasigen Wechselrichters (12), dessen Wechselspannungsausgang mit einer einen Primärstrom  $I_p$  führenden Primärwicklung (15) eines Transformators (14) verbunden ist, wobei an zumindest einer einen Sekundärstrom  $I_s$  führenden Sekundärwicklung (60, 62) des Transformators (14) eine Last anschließbar ist, umfassend einen Regelkreis (78) und eine Ansteuereinheit (40) zur Pulsansteuerung von Leistungshalbleitern T1-T4 des Wechselrichters (12), dadurch gekennzeichnet, dass ein erstes Messelement (58) zur Erfassung des Primärstromes  $I_p$  und ein zweites Messelement zur Erfassung des Sekundärstroms  $I_s$  vorgesehen ist, dass eine Regeldifferenz aus Primärstrom  $I_p$  und Sekundärstrom  $I_s$  einer überlagerten Spannungsregel-

einrichtung (80) zugeführt wird, dass ein Ausgang (92) der Spannungsregelvorrichtung (80) mit einem Vergleichs- (98) einer unterlagerten Stromregelvorrichtung (96) verbunden ist, dass dem Vergleichs- (98) der Primärstrom  $I_p$  als Strom-Istwert  $I_{pist}$  zugeführt wird und dass ein Ausgang (101) der Stromregelvorrichtung (96) mit einem Eingang der Ansteuereinheit (40) verbunden ist.

2. Schaltungsanordnung (10) zum Betreiben eines ein- oder mehrphasigen Wechselrichters (12), dessen Wechselspannungsausgang mit einer einen Primärstrom  $I_p$  führenden Primärwicklung (15) eines Transformators (14) verbunden ist, wobei an zumindest einer einen Sekundärstrom  $I_s$  führenden Sekundärwicklung (60, 62) des Transformators (14) eine Last anschließbar ist, umfassend einen Regelkreis (78) und eine Ansteuereinheit (40) zur Pulsansteuerung von Leistungshalbleitern T1-T4 des Wechselrichters (12), dadurch gekennzeichnet, dass ein erstes Messelement (58) zur Erfassung des Primärstromes  $I_p$  und ein zweites Messelement zur Erfassung des Sekundärstroms  $I_s$  vorgesehen ist, dass eine Regeldifferenz aus Primärstrom  $I_p$  und Sekundärstrom  $I_s$  einer überlagerten Spannungsregelvorrichtung (80) zugeführt wird, dass eine Ausgangsgröße der Spannungsregelvorrichtung (80) einer unterlagerten Stromregelvorrichtung (96) zugeführt und mit dem Primärstrom  $I_p$  als Strom-Istwert  $I_{pist}$  zur Anpassung an dessen Kurvenform verglichen wird, wobei beliebige Phasenwinkel  $\phi$  und Kurvenformen des Ausgangsstromes bzw. Sekundärstromes  $I_s$  zur Ausgangsspannung  $U_A$  regelbar sind und dass ein Ausgang (101) der Stromregelvorrichtung (96) mit einem Eingang der Ansteuereinheit (40) verbunden ist.

3. Schaltungsanordnung nach Anspruch 1 oder 2 dadurch gekennzeichnet, dass die Messelemente (58, 76) über eine zweite Stromregelvorrichtung (86) mit einem Vergleichs- (82) der Spannungsregelvorrichtung verbunden sind.

4. Schaltungsanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Spannungsregler (84) zur Begrenzung seines Ausgangssignals ein Rückkoppelglied (94) aufweist, dessen Eingang mit dem Ausgang (92) des Spannungsreglers (84) und dessen Ausgang mit dem ersten Vergleichs- (82) verbunden ist.

5. Schaltungsanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass dem Stromregler (100) zur Resonanzdämpfung ein Rückkoppelglied (102), vorzugsweise ein aktives Filter wie z. B. ein LC-Filter, zugeordnet ist.

6. Schaltungsanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Messelemente (58, 76) zur Erfassung der Ströme  $I_p$  und  $I_s$  mit Eingängen eines zweiten Vergleichs- (88) verbunden sind und dass ein Ausgang des zweiten Vergleichs- (88) über einen Regler (90), vorzugsweise ein PI-Regler mit dem ersten Vergleichs- (82) des Spannungsreglers (84) verbunden ist.

7. Schaltungsanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Primärwicklung (50) des Transformators (14) zumindest eine Drosselspule (46, 54) in Reihe geschaltet ist, wobei die zumindest eine Drosselspule (46, 54) integraler Bestandteil des Transformators (14) ist.

8. Schaltungsanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Primärwicklung (50) des Transformators (14) eine erste Drosselspule (46) vorgeschaltet und eine zweite Dros-



selspule (54) nachgeschaltet ist, wobei beide Drosselspulen (46, 54) integraler Bestandteil des Transformators (14) sind.

9. Schaltungsanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Kondensator (74) vorgesehen ist, der parallel zu zumindest einer Sekundärwicklung (60, 62) des Transformators (14) angeschlossen ist.

10. Schaltungsanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Pulssteuerung (40) als PWM-Steuerung mit symmetrischer Pulsweitenmodulation ausgebildet ist.

11. PWM-Steuerung, insbesondere nach Anspruch 9, umfassend einen ersten Komparator (104) zum Vergleich einer Steuerspannung  $U_{\text{STEUER}}$  mit einer sägezahnförmigen Vergleichsspannung  $U_{\text{VERGL}}$  und einem zweiten Komparator zum Vergleich einer inneren Steuerspannung  $U_{\text{STEUER}}$  mit der Vergleichsspannung, wobei an den Ausgängen der Komparatoren jeweils Steuersignale zur Ansteuerung von Leistungsschaltern abgreifbar sind, dadurch gekennzeichnet, dass zur Ansteuerung von Leistungsschaltern T1-T4 zumindest eines Brückenzeiges (16, 18) zumindest eine Ansteuerungseinheit (108, 110) mit einem ersten Steuereingang (204, 190) und einem zweiten Steuereingang (180, 198) vorgesehen ist, wobei ein Ausgang des ersten Komparators über zumindest ein UND-Gatter (178) mit dem zweiten Steuereingang (180) und ein Ausgang des zweiten Komparators über zumindest ein UND-Gatter (202) mit dem ersten Steuereingang (204) verbunden ist und wobei das dem ersten Steuereingang zugeordnete UND-Gatter (202, 188) über einen Inverter (208, 212) und dass dem zweiten Steuereingang zugeordnete UND-Gatter (178, 196) direkt mit einem Ausgang einer Signalgeberschaltung (114) verbunden ist, an dem ein digitales Signal "H" anliegt, das mit der halben Frequenz der Vergleichsspannung schwingt.

12. PWM-Steuerung nach Anspruch 9 und 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Ausgänge (134, 136) der Komparatoren (104, 106) jeweils über einen Inverter (138, 140) mit einem Eingang eines UND-Gatters (146, 148) verbunden sind, dessen Ausgang mit jeweils einem Eingang eines ODER-Gatters (164, 166) verbunden ist, wobei ein Ausgang des dem ersten Komparator (104) zugeordneten ODER-Gatters (164) mit einem Eingang des dem zweiten Steuereingang (180) zugeordneten UND-Gatters (178) und mit einem Eingang eines dem ersten Steuereingang der zweiten Ansteuerungseinheit (110) zugeordneten UND-Gatters (188) verbunden ist und wobei ein Ausgang des dem zweiten Komparator zugeordneten ODER-Gatters (166) mit einem Eingang des dem Eingang (204) der ersten Ansteuerungseinheit (108) zugeordneten UND-Gatters (202) und mit einem Eingang eines dem zweiten Steuereingang (198) der zweiten Ansteuerungseinheit (110) zugeordneten UND-Gatters (196) verbunden ist.

13. PWM-Steuerung nach einem der Ansprüche 9 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die dem Inverter (138, 140) nachgeordneten UND-Gatter (146, 148) eingangsseitig mit einem Ausgang (154) der Signalgeberschaltung (114) verbunden sind, an dem ein digitales Signal "MIN" anliegt, das bei einem vorgebbaren minimalen Zählerstand den logischen Pegel "LOW" einnimmt" und dass ein Eingang des ODER-Gatters (164, 166) mit einem Ausgang (172) der Zähschaltung (114) verbunden ist, an dem ein digitales Signal "MAX" anliegt, das bei einem vorgebbaren maximalen Zählerstand den logischen Pegel "HIGH" einnimmt.

14. PWM-Steuerung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Ausgang (132) der Signalgeberschaltung (114) mit einem Steuereingang des Spannungsgenerators (112) zum Setzen und Rücksetzen der sägezahnförmigen Vergleichsspannung  $U_{\text{VERGL}}$  verbunden ist.

15. PWM-Steuerung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Signalgeberschaltung (114) als 8-Bit-Zähler ausgebildet ist.

16. PWM-Steuerung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Ansteuerung (108, 110) als Kipperschaltung, vorzugsweise als Flip-Flop ausgebildet ist.

17. PWM-Steuerung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Ausgang (122) des Spannungsgenerators (112) über ein aus Kondensator (124) und Widerstand (130) bestehendes Hochpassfilter mit einem negativen Eingang (126, 128) der Komparatoren (104, 106) verbunden ist.

18. PWM-Steuerung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuerspannung  $U_{\text{STEUER}}$  direkt mit einem positiven Eingang (118) des ersten Komparators (104) und über eine Inverter-Schaltung (122) mit einem positiven Eingang (120) des zweiten Komparators (106) verbunden ist.

19. Verfahren zur Erzeugung von pulsweitenmodulierten Signalen zur Ansteuerung von Leistungsschaltern T1-T4 eines Pulswechselrichters, wobei eine sägezahnförmige Vergleichsspannung  $U_{\text{VERGL}}$  mit einer Steuerspannung  $U_{\text{STEUER}}$  und einer inversen Steuerspannung  $/U_{\text{STEUER}}$  zur Erzeugung von Ansteuersignalen /KOMP1, /KOMP2 verglichen wird und wobei erste Ansteuerimpulse (216) erzeugt werden, wenn die Vergleichsspannung  $U_{\text{VERGL}}$  betragsmäßig größer als die Steuerspannung  $U_{\text{STEUER}}$  wird und zweite Ansteuerimpulse (218) erzeugt werden, wenn die Vergleichsspannung  $U_{\text{VERGL}}$  betragsmäßig größer als die inverse Steuerspannung  $/U_{\text{STEUER}}$  wird, dadurch gekennzeichnet, dass die Ansteuersignale (216, 218) symmetrisch oder im wesentlichen symmetrisch zu einer abfallenden Flanke der sägezahnförmigen Vergleichsspannung erzeugt werden, wobei die Leistungsschalter (T1, T2, T3, T4) zumindest eines Brückenzeiges (16, 18) durch eine ansteigende Flanke des ersten Ansteuerimpulses (216) von einem ersten stabilen Zustand in einen zweiten stabilen Zustand geschaltet werden und durch eine ansteigende Flanke des zweiten Ansteuerimpulses von dem zweiten stabilen Zustand in den ersten stabilen Zustand geschaltet werden.

20. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die von den Komparatoren (104, 105) erzeugten Ansteuersignale /KOMP1, /KOMP2 mit einem digitalen Signal "H" der halben Frequenz der Vergleichsspannung  $U_{\text{VERGL}}$  logisch UND-verknüpft werden, wobei ein dem positiven Pol der Brückenschaltung zugeordneter Leistungsschalter T1, T3 nur dann eingeschaltet wird, wenn das logische Signal "H" den logischen Pegel "LOW" aufweist und ein dem negativen Pol der Brückenschaltung zugeordneter Leistungsschalter T2, T4 nur dann eingeschaltet wird, wenn das logische Signal "H" den logischen Pegel "HIGH" aufweist.

21. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass bei einem vorgebbaren minimalen Zählerstand ein logische Signal "MIN" erzeugt wird, das mit den Ansteuersignal /KOMP1, /KOMP2 logisch UND-verknüpft wird und dass bei einem vorgebbaren maximalen Zählerstand

ein logisches Signal "MAX" erzeugt wird, das mit den Ansteuersignalen /KOMP1 und KOMP2 logisch ODERverknüpft wird.

---

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

---

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

**THIS PAGE LEFT BLANK**

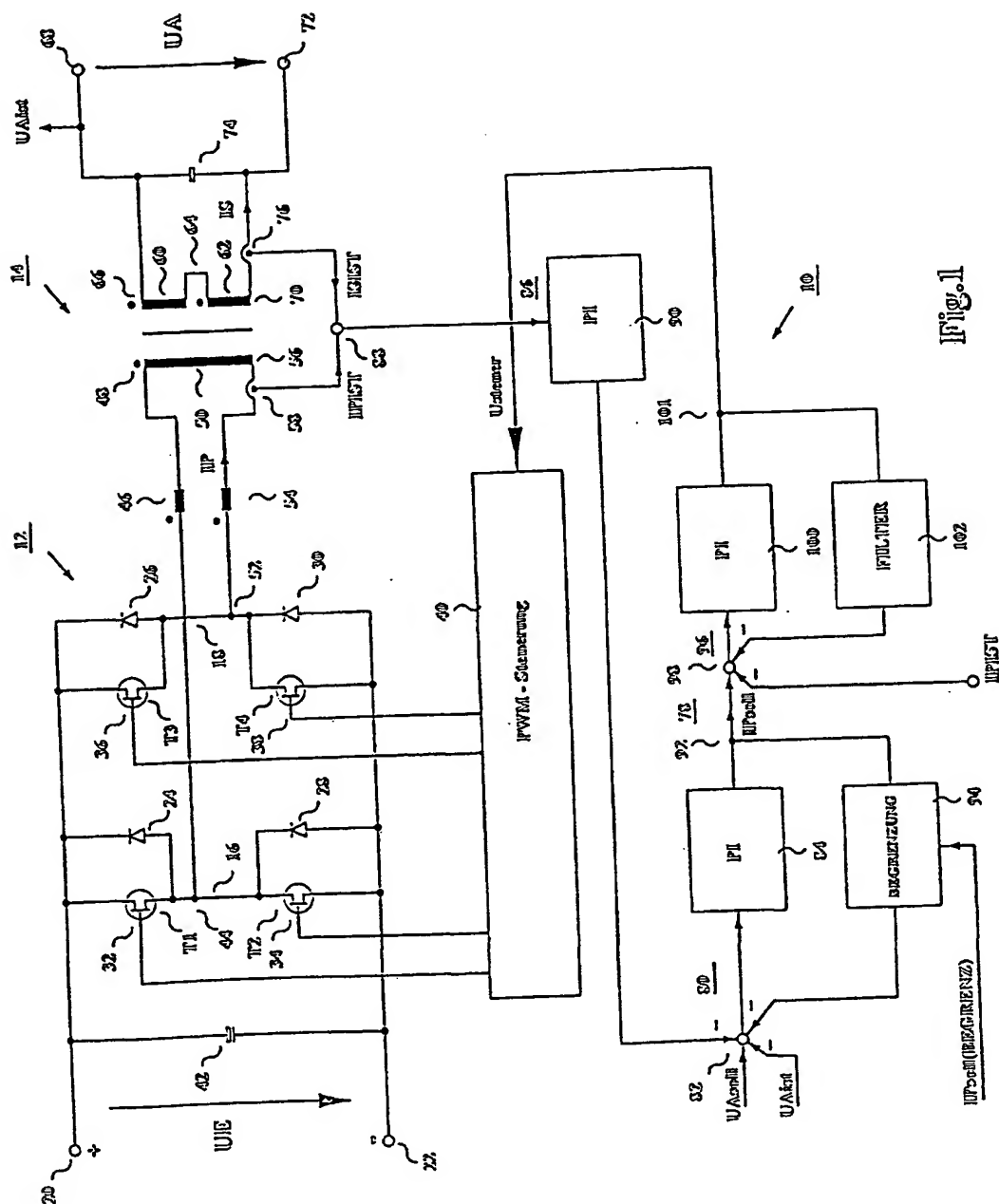


Fig. 1

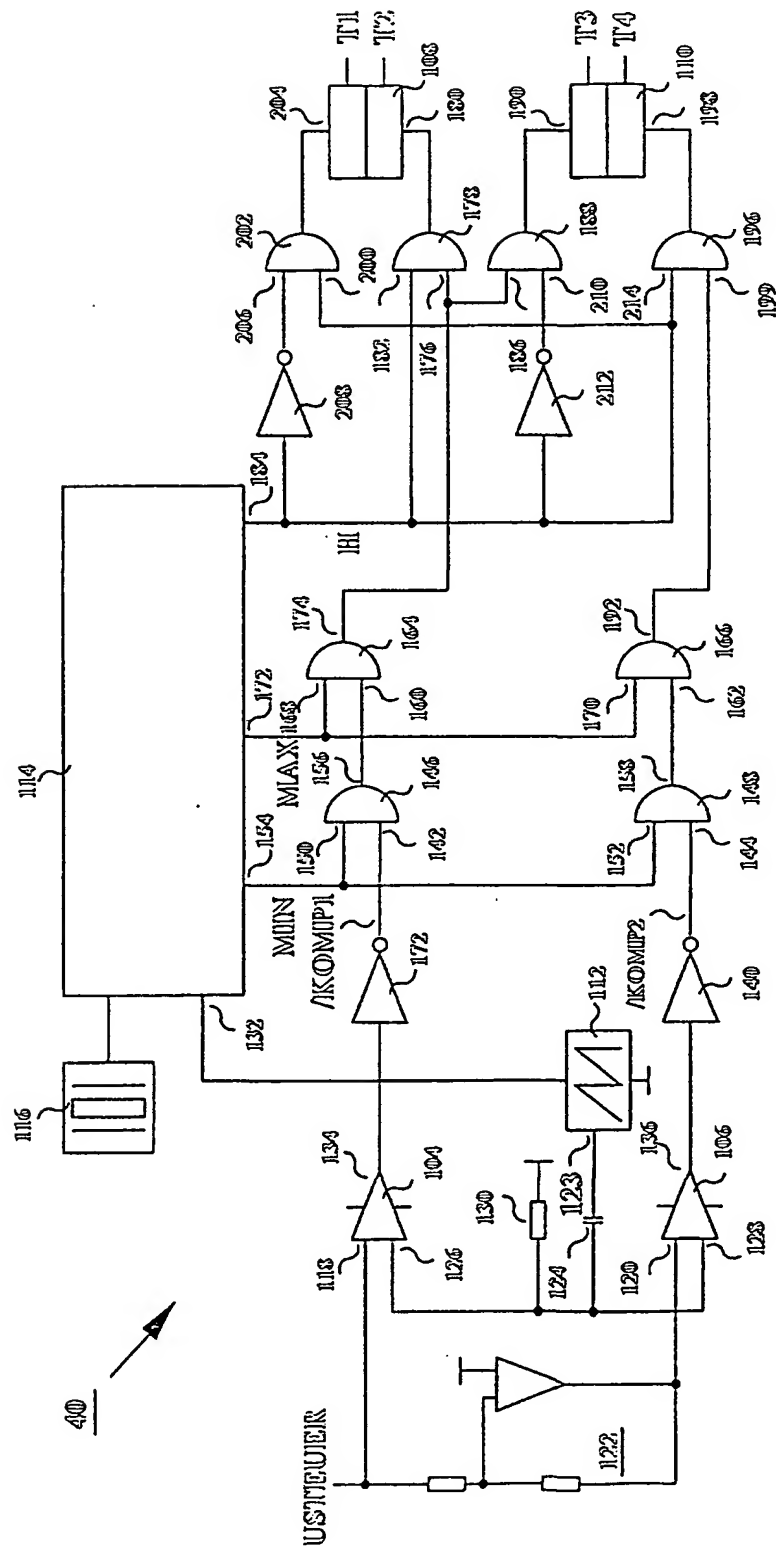


Fig. 2

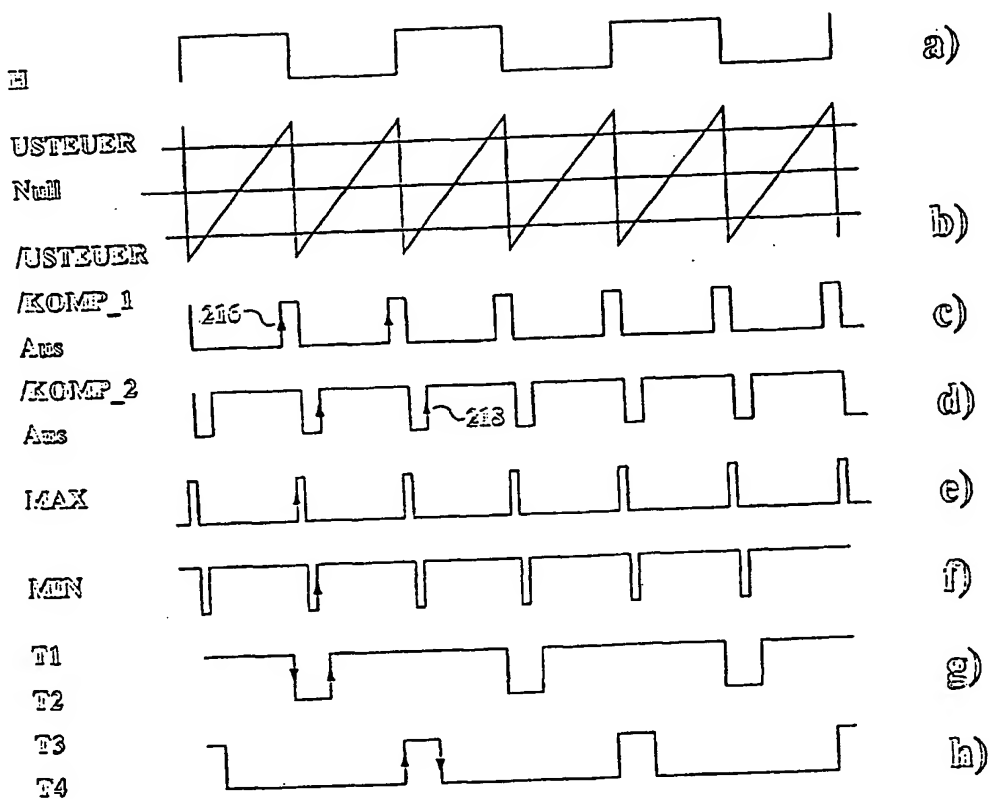


Fig.3

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☒ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**



**THIS PAGE LEFT BLANK**